

НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫЕ МЕТАЛЛ – УГЛЕРОДНЫЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

к.т.н. Кольцова Т.С.

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный политехнический
университет», г. Санкт-Петербург,
annelet@yandex.ru

Работа посвящена разработке метода синтеза углеродных нанотрубок и нановолокон непосредственно на поверхности металлических порошков меди и алюминия, а так же получению на их основе многофункциональных композиционных материалов с высокими прочностными характеристиками.

Благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам, углеродные нанотрубки (УНТ) и нановолокна (УНВ) могут быть использованы для производства прочных и электропроводящих композиционных материалов. Как известно, даже небольшие добавки УНТ и УНВ в различные матрицы могут значительно улучшить их механические и электрические характеристики [1].

На сегодняшний день наиболее распространенным способом производства композитов с углеродными нанотрубками/нановолокнами (УНТ/УНВ) являются методы порошковой металлургии. Достижение высоких прочностных свойств композитов может быть получено за счет высокой однородности распределения упрочняющей фазы и ее сцепления с матрицей. Эти задачи решаются исследователями различными способами как на этапе приготовления композиционного порошка, так и на этапе его компактирования. Основными технологическими этапами получения композита металл-углеродные наноструктуры является смешение УНТ/УНВ с порошком матрицы путем совместного помола и компактирование путем прессования и спекания или холодного изостатического прессования, горячего изостатического прессования, спекания в плазменном разряде.

Недавно нами предложен новый подход для создания композиционных материалов заключающийся в газофазном синтезе углеродных наноструктур непосредственно на поверхности металлических частиц с хорошим распределением углерода в объеме матрицы [2]. Предложенный метод позволяет производить композиционные материалы системы металл-углеродные наноструктуры, не прибегая к многоступенчатым процессам очистки УНТ / УНВ, функционализации и диспергирования для однородного распределения в металлической матрице. В качестве матрицы были выбраны медные и алюминиевые коммерческие порошки.

Рассматриваемым методом на медном порошке марки ПМС-1 (рис. 1а) успешно синтезированы равномерно распределенные углеродные наноструктуры без дополнительной операции нанесения катализатора в среде ацетилен-водород при температуре 765°C (рис. 1б). Результаты

просвечивающей электронной микроскопии показали, что углеродный продукт представляет собой нановолокна диаметром 30-80 нм и длиной до нескольких микрон. При варьировании такими параметрами как соотношение ацетилен/водород, температура и время синтеза получены композиционные порошковые материалы с различным содержанием (от 1 до 10 масс.%) углеродных нановолокон.

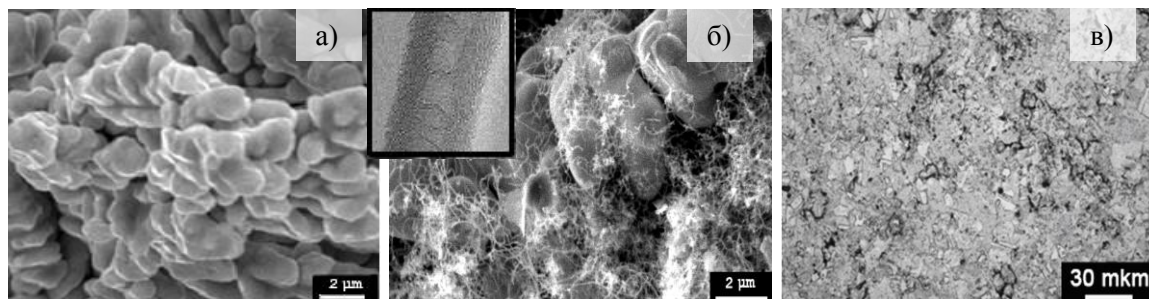


Рис. 1. Изображения исходных медных частиц (а), частиц, обработанных в ацетилен – водородной среде при температуре 765°C (СЭМ) (б); микроструктура композита с 5 масс.% углеродных нановолокон (в).

Образцы компактных композиционных материалов получали методом холодного одноосного прессования (500-750МПа) и спекания в водороде (950°C). Плотность композиционного материала, содержащего 5 масс.% УНВ, составила 97,5%. Изучение микроструктуры (рис. 1в) показало малый размер зерна (4-6 мкм) и отсутствие грубых углеродных включений. Углеродные нановолокна, полученные из газовой фазы, равномерно распределены по поверхности микрочастиц, занимают межчастичные поры при прессовании и предотвращают рост зерна основного металла в процессе спекания.

При использовании алюминиевого порошка марки ПА-4 (рис. 2а), дополнительно вводили малые количества никеля из растворов солей (0,02 масс.%, относительно алюминия) в качестве катализатора роста углеродных волокон. Композиционный материал, синтезированный при температуре 550°C, представляет собой алюминиевые микрочастицы с равномерно распределенными углеродными волокнами по поверхности (рис. 2б).

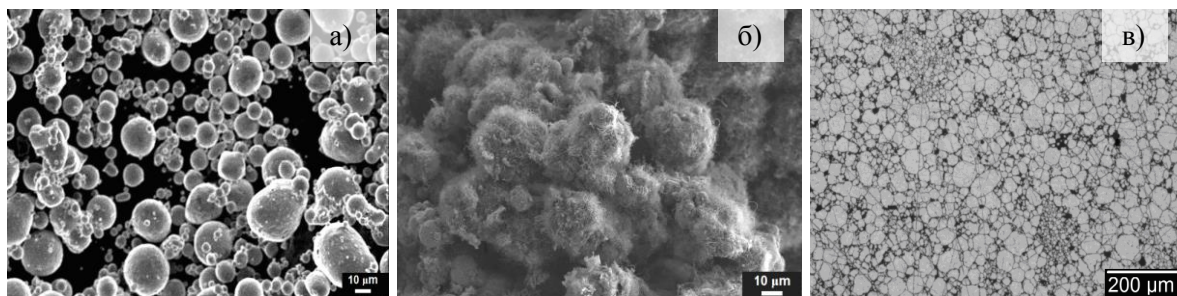


Рис.2. Изображения исходных частиц алюминия (а), частиц, обработанных в ацетилен – водородной среде при температуре 550°C (СЭМ) (б);

микроструктура композита с 1 масс.% углеродных нановолокон (в).

На рисунке 2в представлена типичная микроструктура образцов после горячего прессования. Структура компактного материала представляет собой равноосные зерна формой, близкой к шестиугольной. Образцы имеют плотность, близкую к теоретическому значению. Исследование образцов методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) показывает присутствие небольшого количества оксида алюминия (Al_2O_3) и карбида алюминия (Al_4C_3), что связано с реакциями на границе раздела алюминий-УНВ.

Исследование механических свойств и электропроводности композитов медь-углеродные нановолокна показало, что при содержании 3 масс.% УНВ происходит существенное, более 60%, повышение твердости композиционного материала при сохранении высокой электропроводности – более 96% от электропроводности чистой меди. Образцы, содержащие 10 масс.% УНВ, показали возрастание износостойкости более чем в 2,5 раза при сохранении низкого коэффициента трения.

Полученный материал на основе алюминия с 1 масс. % УНВ имеет твердость ~55 НВ, что сопоставимо с твердостью дуралюминия после стандартной термической обработки. При этом наблюдается снижение теплопроводности материала до 60 Вт/м*К, из-за теплового барьера на границе раздела алюминий-углерод и образования карбида алюминия. Разработанный материал перспективен для применения в качестве конструкционного материала. Одним из перспективных направлений применения разработанного материала является изготовление корпусов электронной техники в случае работы устройств при отрицательных температурах, в первую очередь, для авиастроения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Baetz J.G., Metal Matrix Composites: Their Time Has Come. Aerospace America (November 1998), pp. 14–16
2. Nasibulin A.G., Koltsova T.S., et al. A novel approach to composite preparation by direct synthesis of carbon nanomaterial on matrix or filler particles. Acta Materialia. Vol.61, No. 6, pp. 1862-1871, 2013.